


หนังสืออาจารย์หนึ่งผลงาน

ประจำปี 2549



Movement of Substances  
Across Membranes

รองศาสตราจารย์ ดร. กรกช อินทราพิเชษฐ์

สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# Movement of Substances

## ~~Across Membranes~~

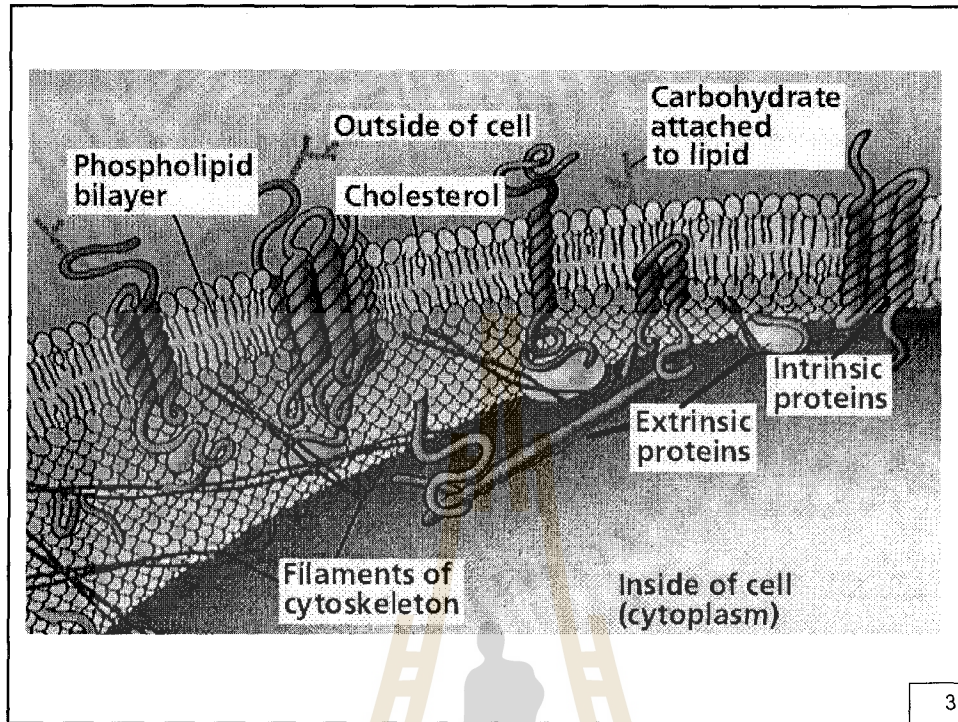
การเคลื่อนที่ของสาร  
เข้าและออกจากเซลล์

1

Plasma Membrane - เยื่อเซลล์  
ส่วนประกอบเป็น Supramolecular structure

- Phospholipids 2 layers เรียกว่า Lipid bilayer มีคุณสมบัติ
  - Hydrophobic ที่แกนกลางของชั้น
  - Hydrophilic ที่ขอบนอกของชั้น
- Proteins
  - ที่ฝังด้านนอกหรือในของชั้น หรือทั้ง 2 ด้านของ bilayer
  - แทรกตัวอยู่โดยวางผ่านตลอด หรือ ไม่ตลอด หรือ เฉพาะภายใน bilayer
- Carbohydrates

2



### การเคลื่อนที่ของสารเข้าและออกจากเซลล์

- เซลล์ต้องการโมเลกุลและ ions จากภายนอก เพื่อให้สภาพแวดล้อมภายในโดยรวมของเซลล์คงที่
- รักษาสภาพภายใน organelles ให้คงที่ และให้แตกต่างกันจาก cytosol
- นำ ions, biomolecules หรือ metabolites เข้า-ออก เซลล์
  - ผ่าน plasma membrane เช่น  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$
  - ผ่านส่วนประกอบของ membrane เช่น proteins, mRNA,  $\text{Ca}^{2+}$ , ATP

4

### ปัจจัยของการเคลื่อนที่ของสารข้าม membrane

#### ● Concentrations

- Molecules & ions เคลื่อนที่ตาม Concentration gradient คือจากบริเวณความเข้มข้นสูงไปหาบริเวณความเข้มข้นต่ำได้เอง
- สารที่เคลื่อนที่ต้านกับ concentration gradient ได้ต้องใช้พลังงาน

#### ● Membrane Impermeability

- permeable ต่อ  $H_2O$ , small, uncharged molecules บางชนิดเช่น  $O_2$ ,  $CO_2$
- Impermeable
  - ต่อ Cations (+) เช่น  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$
  - ต่อ Anions (-) เช่น  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$
  - ต่อ Hydrophilic molecules เช่น Glucose
  - ต่อ Macromolecules เช่น protein และ RNA

5

### Permeability of Membrane

#### ● Permeability ของ membrane เป็น Selective permeability เพราะ

- ส่วน Hydrophobic core (lipid bilayer)
- Proteins ใน membrane ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับขนส่งโมเลกุลเฉพาะ

#### ● Substances เคลื่อนที่ข้าม plasma membrane ด้วยอัตราต่างกัน

- Hydrophilic molecules หรือ Polar ผ่านไม่ได้
- Hydrophobic molecules ผ่านง่าย เช่น hydrocarbons,  $CO_2$ ,  $O_2$  และ polar แต่ไม่มี charge
  - Small molecules & ions หลายชนิดเคลื่อนที่ข้ามได้อิสระ เช่น  $H_2O$  & ethanol
  - สารที่ละลายได้ในไขมัน ซึมผ่านเข้า-ออก membrane ได้ง่าย

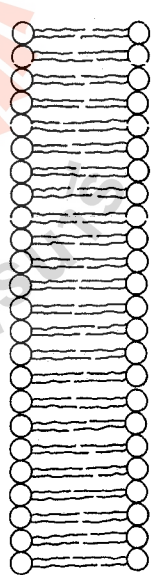
6

### Impermeability ของ Lipid Bilayer

- Lipid bilayer ของ membrane ไม่ยอมให้สารต่อไปนี้ผ่าน
  - large, uncharged polar molecules เช่น glucose และ sugar อื่น
  - ions ส่วนมาก แม้ขนาดเล็ก เช่น  $H^+$  และ  $Na^+$
  - charged atoms, charged molecules และที่ล้อมรอบด้วยน้ำ
- Proteins ที่เป็นส่วนประกอบของ membrane ทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมการขนส่งสาร เข้า-ออก เซลล์

7

Schematic diagram แสดง Permeability ของ Plasma membrane ที่มีต่อ น้ำ แก๊ส small หรือ uncharged molecule และ large หรือ charged molecules

Water	$H_2O$	
Gases	$CO_2$ $N_2$ $O_2$	
Small uncharged polar molecules	Urea Ethanol	
Large uncharged polar molecules	Glucose	
Ions	$K^+$ $Mg^{2+}$ $Ca^{2+}$ $Cl^-$ $HCO_3^-$ $HPO_4^{2-}$	
Charged polar molecules	Amino acids ATP Glucose 6-phosphate	

8

### Modes ในการนำสารเข้า-ออกเซลล์

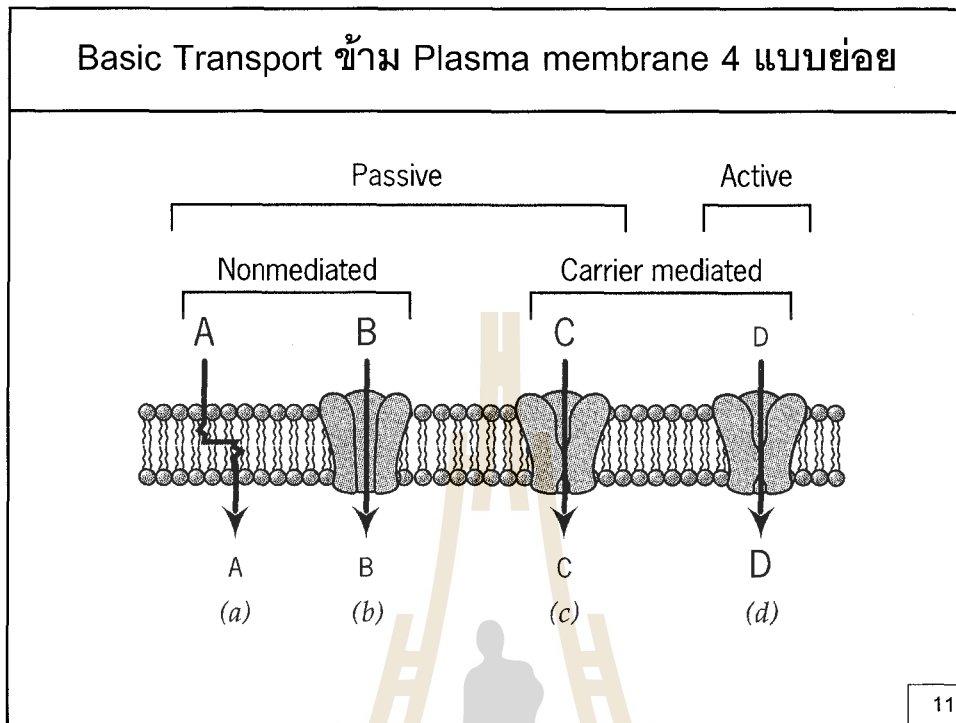
- การนำสารเข้า-ออกเซลล์ในปริมาณน้อย  
หรือ Membrane traffic
  - โดย 2 Modes คือ
    - Diffusion และ
    - Active transport
- การนำสารเข้า-ออกเซลล์ในปริมาณมาก  
หรือ Bulk transport
  - โดย 2 Modes คือ
    - Endocytosis และ
    - Exocytosis

9

### Two Modes of Membrane Traffic

- Passive transport: สารเคลื่อนข้าม membrane จากด้านที่มี  
ความสูงกว่า (concentration gradient) ไปหาความเข้มข้นต่ำ  
กว่า หรือ ศักย์ต่ำกว่า ไม่ต้องการพลังงานในเซลล์
- Active transport: สารเคลื่อนที่ข้าม membrane จากด้านที่มี  
ความเข้มข้นต่ำกว่า หรือ ศักย์ต่ำกว่า ไปหาด้านที่มีความ  
เข้มข้น หรือ ศักย์สูงกว่า หรือต้าน concentration gradient ซึ่ง  
ต้องการพลังงานจาก metabolism ในการขับเคลื่อน

10



Passive Transport

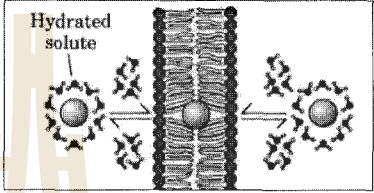
1. Simple diffusion
2. Facilitated diffusion

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

12

1. Simple Passive Transport  
Passive Transport เป็น Diffusion Across Membrane

- การเคลื่อนที่ของสารจากความเข้มข้นมากกว่า ไปที่ความเข้มข้นน้อยกว่า หรือ diffuse down concentration gradient โดยไม่ใช้พลังงาน
- Diffusion เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเอง
- เกิด Concentration gradient หรือ Electrical energy ในสารละลายเป็นตัว (พลัง) ขับเคลื่อน diffusion

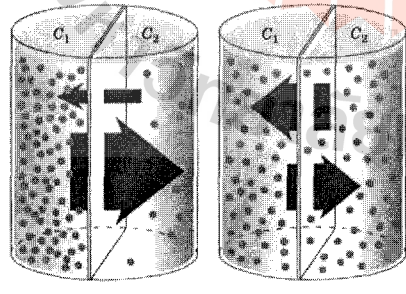


The diagram shows a cross-section of a lipid bilayer membrane. On the left side, there is a higher concentration of 'Hydrated solute' particles (represented as spheres with water molecules). On the right side, there is a lower concentration. Arrows indicate the movement of these particles from left to right across the membrane.

13

Diffusion ของ Ions / Charged Ions

Chemical gradient

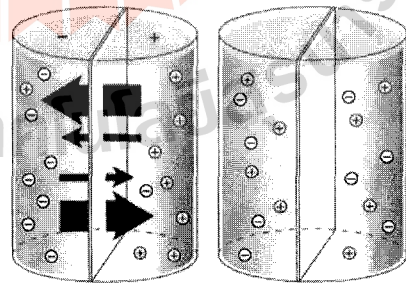


$C_1 \gg C_2$   
Before equilibrium  
Net flux  $\rightarrow$

$C_1 = C_2$   
At equilibrium  
No net flux

(a)

Electrical gradient



$V_m > 0$   
Before equilibrium

$V_m = 0$   
At equilibrium

(b)

14



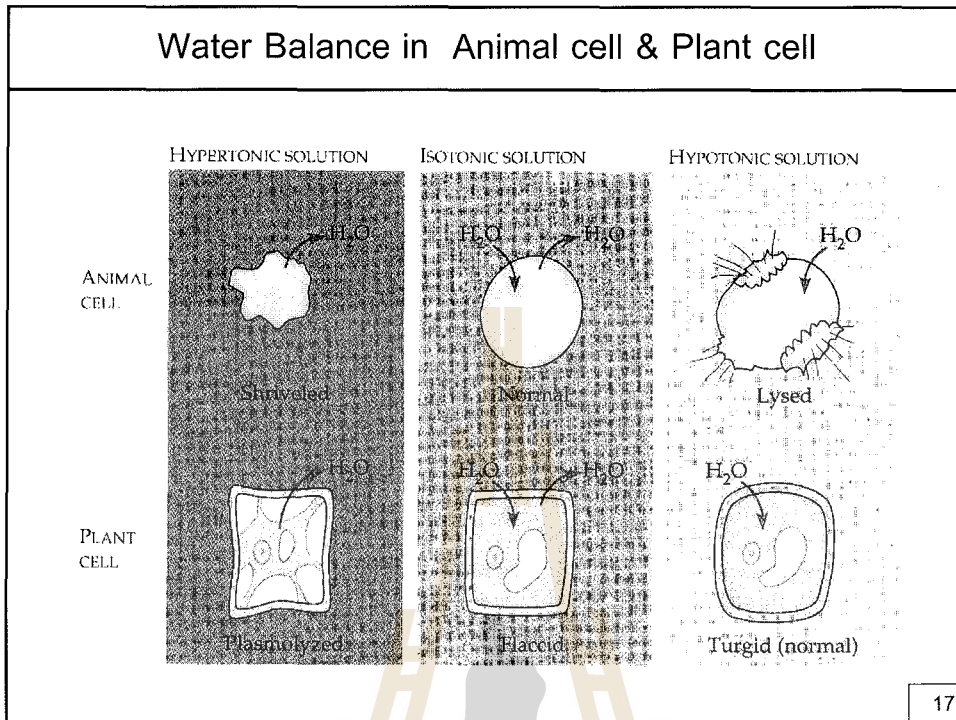
### Osmosis เป็น Diffusion ของน้ำ

- การเคลื่อนที่ของน้ำเป็นการเคลื่อนที่ตรงข้ามกับสารที่เป็นตัวถูกทำละลาย
- น้ำเคลื่อนที่จากความเข้มข้นของตัวถูกทำละลายต่ำ (low solute concentration) (หรือมีน้ำมากกว่า) ไปหาความเข้มข้นของตัวถูกทำละลายสูง (high solute concentration) (หรือที่มีน้ำน้อยกว่า)

15

- สารละลายที่มี concentration ของ solutes สูงกว่า เรียกว่า Hypertonic
- สารละลายที่มี concentration ของ solute ต่ำกว่า เรียกว่า Hypotonic
- ความเข้มข้นของ solute เท่ากับ ของ solvent เท่ากัน เรียกว่า Isotonic

16



**Water Balance of Cells**

- Osmosis มีความสำคัญต่อหน้าที่ของร่างกายมาก
- สัตว์: เซลล์ในทางเดินอาหาร ปกติขับน้ำออก แต่ถ้าเซลล์ดูดน้ำกลับแบบ osmosis จะทำให้เกิดท้องร่วง และทำให้ร่างกายขาดน้ำได้อย่างรวดเร็ว
- พืช: เซลล์พืชปกติเป็น hypertonic ถ้าน้ำเข้าเซลล์มากจะทำให้เซลล์เต่งเกิด Turgor pressure ดัน cell wall
- พืชอยู่ในสารละลายที่เข้มข้นกว่าพืชจะเสียน้ำออกจากเซลล์ทำให้พืชเหี่ยว

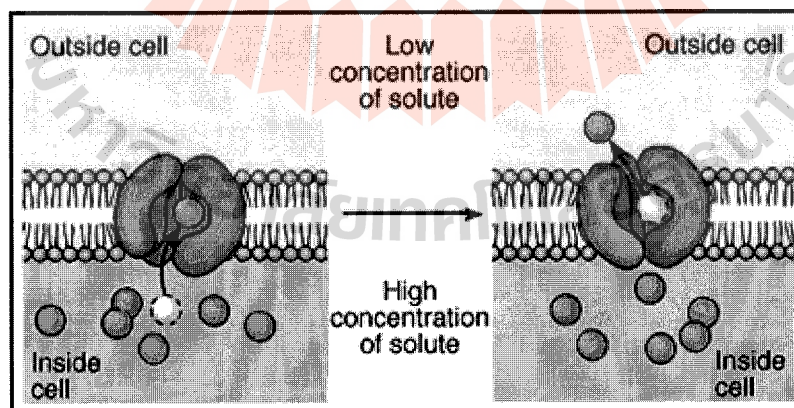
18

## 2. Facilitated diffusion

- **Passive transport** โดยผ่านโปรตีนขนส่ง (protein transporter) เหมือนเป็นอุโมงค์ (channel) น้ำตลอด membrane ย่อมให้สารผ่าน (และมีคุณสมบัติเป็น enzyme ในเมมเบรนกรณี active transport)
- **Solute** โมเลกุลในด้านที่มีความเข้มข้นสูงจับกับ transport protein แล้ว transport protein จะนำมาปล่อย solute โมเลกุลสู่ด้านที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า
- **สำคัญต่อการเคลื่อนที่เข้าและออกของ polar solutes** ได้แก่ น้ำตาล glucose, amino acid, urea, และ ethanol

19

## Facilitated Diffusion



20

### Transport Proteins

- Hydrophilic molecules และ ions บางชนิด ผ่านเข้า ออกเซลล์ โดยอาศัย Transport proteins ที่วางตัวแทรกผ่านตลอดความกว้างของ cell membrane
- Transport proteins ใน membrane
  - มีความเฉพาะมาก ต่อชนิด และโครงสร้างของสารที่จะผ่าน
  - เป็น Carrier proteins จับกับและพาสารที่จะผ่านข้าม membrane
  - เป็น Channel ที่ hydrophilic ให้โมเลกุล ที่ชอบน้ำผ่าน membrane
  - เป็น Enzyme สลาย ATP ให้ได้พลังงานขับเคลื่อนสารผ่าน membrane

21

### Transport proteins

ในภาพ Transport Proteins คือ  
Carrier Protein และ Channel Protein

22

Channel ใน Membrane สำหรับ Facilitated Diffusion

● Channel ที่ยอมให้สารผ่านได้ และสามารถ เปิด หรือ ปิดได้ เรียกว่า Gated

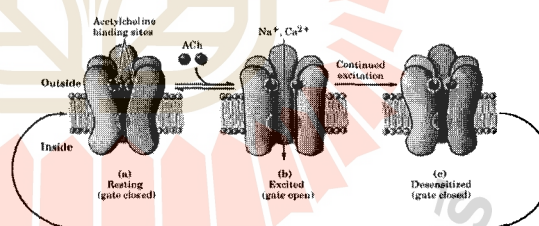
- Ligand-gated ion channel
  - Channel ที่มี protein จับกับโมเลกุลสัญญาณ (ligand) แล้วทำให้ gate เปิด-ปิด เช่น สารสื่อประสาท ที่ synapse
- Mechanically-gated ion channel
  - Channel ที่เปิด-ปิด ตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นทางกายภาพ เช่น แสง เสียง
- Voltage-gated ion channel
  - Channel ที่ เปิด-ปิด ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงประจุ (charge) ของ membrane เช่น กระแสประสาทใน axon

23

Types of Gated channel

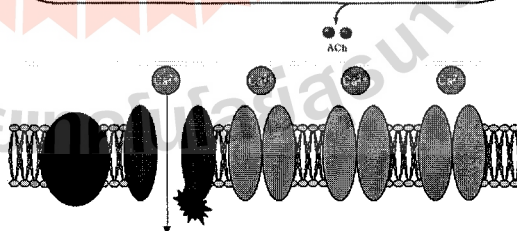
1. Ligand-gated channel

การส่งสารสื่อประสาท จาก เซลล์ 1 ไปเซลล์ที่ 2



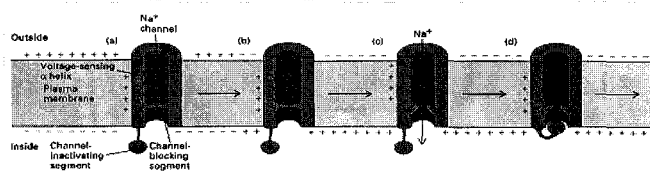
2. Mechanically-gated channel

เช่น เซลล์รับแสงในตาของคน

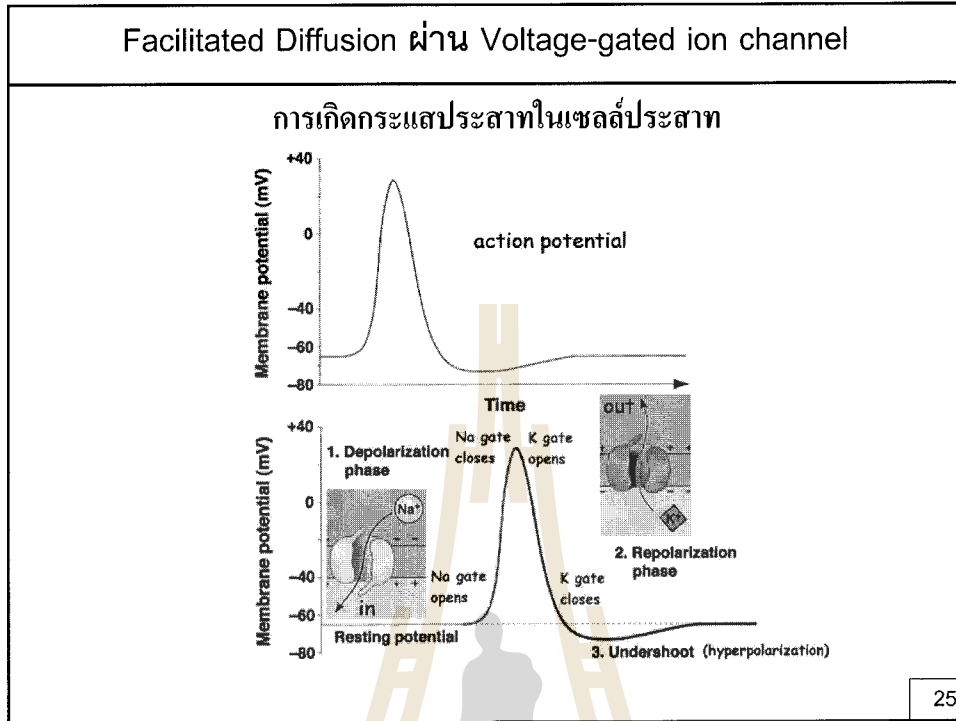


3. Voltage-gated channel

เช่น การเกิดกระแสประสาท ในเซลล์ประสาท

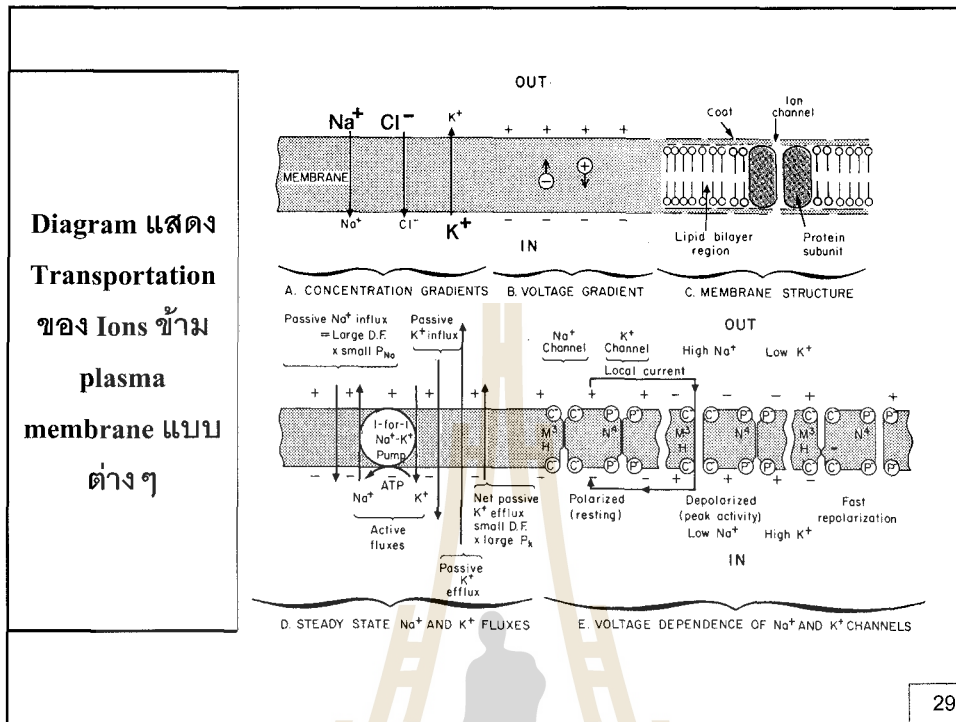


24



Active Transport
<ul style="list-style-type: none"> <li>● กระบวนการ pump molecules / ions ผ่าน membrane โดยต้านกับ concentration gradient</li> <li>● ต้องการ                             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ protein transporter ใน membrane</li> <li>■ พลังงาน ส่วนมากคือ ATP</li> </ul> </li> <li>● มี 2 modes คือ                             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 1. Direct active transport</li> <li>■ 2. Cotransport หรือ Indirect Active Transport หรือ Secondary Active Transport</li> </ul> </li> </ul>
27

1. Direct Active Transport
<ul style="list-style-type: none"> <li>● การเคลื่อนที่ของสารจากที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าข้ามเมมเบรนไปหาความเข้มข้นสูงกว่า ต้องใช้พลังงานโดยตรง จาก ATP หรือ <math>H^+</math> gradient จากเมตาโบลิซึม</li> <li>● และมี transporter proteins เฉพาะในเมมเบรนเกี่ยวข้อง คือ ATPase ซึ่งเป็น enzyme ย่อย ATP</li> <li>● รักษา internal concentration ของ ions ในเซลล์ให้ต่างจากภายนอกเซลล์</li> </ul>
28



29

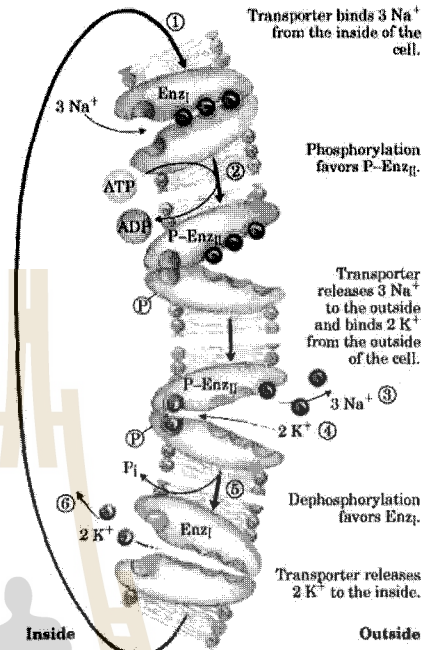
### Transport Protein ใน Active Transport

- Transport proteins เป็น enzyme คือ ATPase
- ATP ให้พลังงานในการขนส่งโดยตรง ไม่ถ่าย phosphate group ให้ transport protein หรือ
- ATPase ทำหน้าที่ตัด phosphate group ตัวสุดท้ายของ ATP ให้ได้ เป็นพลังงานให้กับ transport protein
- ทำให้ transport protein นั้นเปลี่ยนรูปร่าง แล้วทำให้สามารถขนย้ายโมเลกุลที่จะต้องการส่งข้ามเมมเบรนได้ เช่น
  - $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  ATPase / Pump ในเซลล์กล้ามเนื้อและในเซลล์ประสาท
  - $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase / Pump ใน endoplasmic reticulum
  - $\text{H}^+$  Pump ใน Mitochondria, lysosome, เซลล์ไต

30



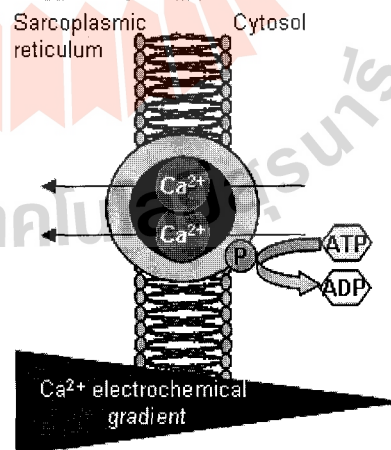
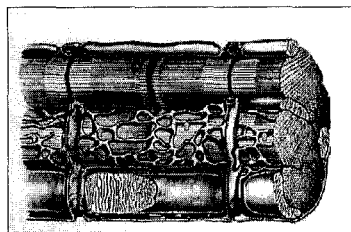
Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPase / Pump :  
 Na<sup>+</sup> ions และ K<sup>+</sup> ions ใช้  
 transport protein เฉพาะ คือ  
 ATPase ใน membrane ทำ  
 หน้าที่ถ่าย Pi จาก ATP ให้  
 pump (Phosphorylation)  
 ใช้ขน Na<sup>+</sup> และ K<sup>+</sup> กลับที่เดิม  
 ซึ่งมี Na<sup>+</sup> และ K<sup>+</sup> มากอยู่แล้ว  
 เช่น ในเซลล์ประสาท หลัง  
 เกิดกระแสประสาทแล้ว



31

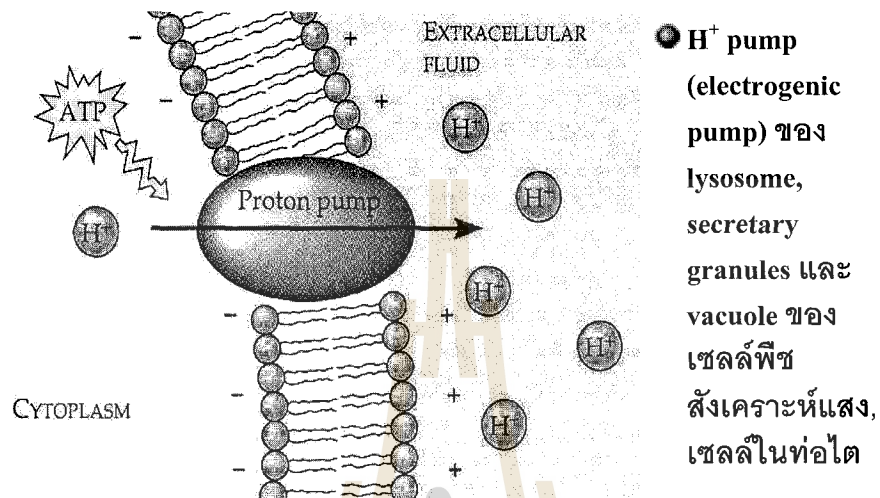
### Ca<sup>2+</sup> ATPase / Pump

เช่นหลังการหดตัวของเซลล์  
 กล้ามเนื้อ ต้องการขนย้าย  
 Ca<sup>2+</sup> ออกจาก cytosol กลับ  
 เข้าสู่ Smooth ER



32

Active transport โดยไม่มีการถ่าย phosphate group จาก ATP

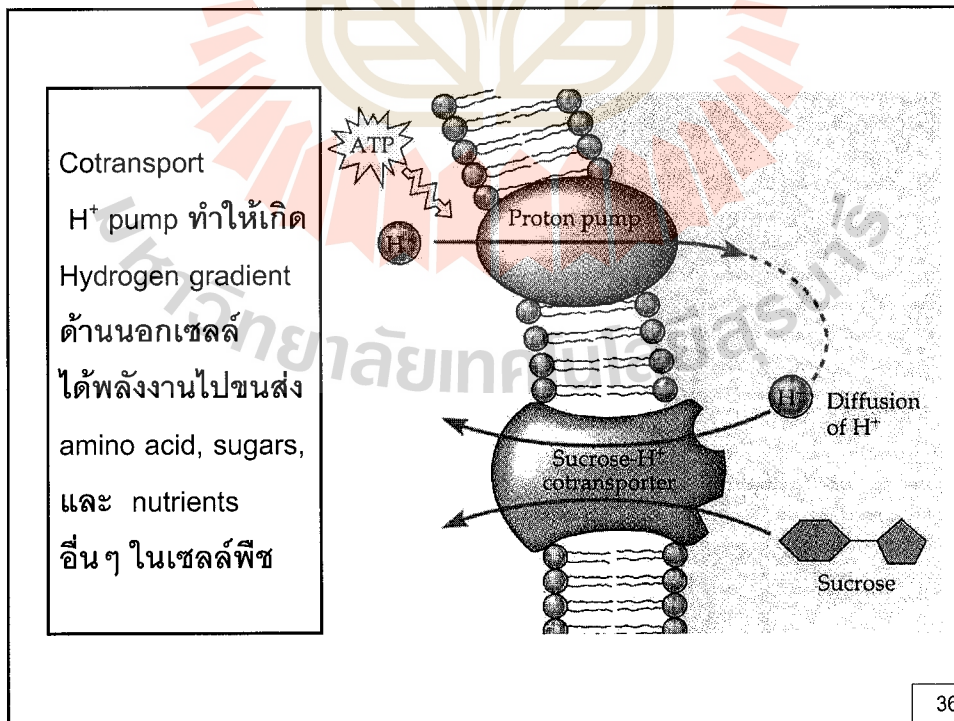
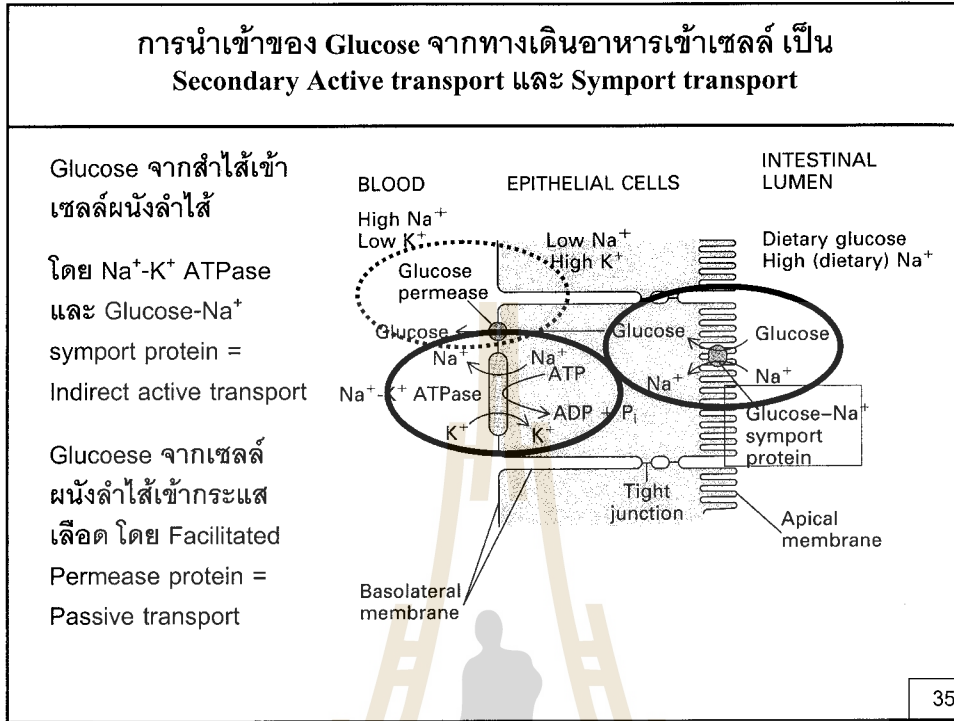


33

Cotransport หรือ Indirect active transport

- ATP-powered pump ที่ ขนส่ง solute เฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่มีผลให้ขนส่ง solutes อื่น ๆ ได้ด้วย
- สารที่ถูก pump ข้ามเมเบรน (uphill) ไปแล้ว ทำให้สารนั้นมีปริมาณมาก และไหลกลับโดย diffusion (downhill) การไหลกลับนี้ทำให้ได้งานไปในการขนส่งอีกสารหนึ่ง
- Transport protein ทำงานร่วม (couple) กับ downhill diffusion จากผล active transport ของสารที่ 1 ไป ขับเคลื่อนสารที่ 2

34



Vesicle Transport  
ขนส่ง สารโมเลกุลใหญ่ หรือ ปริมาณมาก

---

Exocytosis  
Endocytosis และ Phagocytosis

37

Exocytosis  
นำผลผลิต (secretion) ของเซลล์ออกสู่ภายนอก

- Transport vesicle ซึ่งหลุดออกจาก Golgi complex เคลื่อนที่โดย cytoskeleton ไปยัง plasma membrane
- Membrane ของ transport vesicle fuse รวมกับ plasma membrane เปิดให้สารออกสู่ภายนอกเซลล์

38

**Endocytosis**  
นำสารโมเลกุลใหญ่เข้าสู่เซลล์ 3 แบบ

1. Phagocytosis
2. Pinocytosis
3. Receptor-mediated endocytosis

39

**Phagocytosis**  
(cellular eating) นำ particles เข้าเซลล์

The diagram illustrates the process of phagocytosis. On the left, the 'EXTRACELLULAR FLUID' contains various particles, including a large dark 'Food' or other particle. 'Pseudopod' (extensions of the cell membrane) are shown reaching out to engulf this particle. An arrow points to the right, showing the cell membrane has fused to form a 'Food vacuole' within the 'CYTOPLASM'. The large particle is now contained within this vacuole.

40

